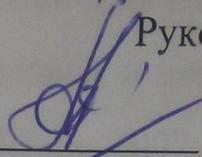


Министерство образования и науки Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)
Институт биологии, экологии, почвоведения, сельского и лесного хозяйства
(Биологический институт)
Центр превосходства «Био-Клим-Лэнд»

ДОПУСТИТЬ К ПРЕДСТАВЛЕНИЮ ГЭК

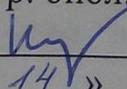

Руководитель ООП
д-р биол. наук
Д. С. Воробьев
«14» июня 2019 г.

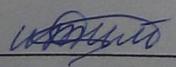
НАУЧНЫЙ ДОКЛАД
об основных результатах подготовленной научно-квалификационной работы
(диссертации)

**ЭКОЛОГО-БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВОДОЕМОВ
ПОЙМЫ СРЕДНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ ОБИ**

по основной образовательной программе подготовки научно-педагогических
кадров в аспирантуре
направление подготовки 06.06.01 – Биологические науки

Рожкова-Тимина Инна Олеговна

Научный руководитель
д-р. биол. наук, профессор

С. Н. Кирпотин
«14» июня 2019 г.

Автор работы
аспирант

И. О. Рожкова-Тимина

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Бореальные и субарктические районы Северного полушария относятся к числу наиболее уязвимых районов в контексте происходящих природных изменений (Frey, McClelland, 2009; Schuur et al., 2015; Vonk et al., 2015; Throckmorton et al., 2016; Ala-Aho et al., 2018a, 2018b; Serikova et al., 2018). Наиболее значимой территорией в данном аспекте является Сибирь из-за значительного накопления углерода в почвах мерзлотной и немерзлотной зон (Botch et al., 1995; Kremenetski et al., 2003; Frey and Smith, 2007; Beilman et al., 2009; Tarnocai et al., 2009; Kirpotin et al., 2009; Smith et al., 2012; Hugelius et al., 2014; Gentsch et al., 2015; Pokrovsky et al., 2015; Serikova et al., 2018, 2019). Знание закономерностей биогеохимических процессов, связанных с потеплением в этом регионе и последующими миграциями углерода, особенно важно для глобальных прогнозов углеродного баланса и климатически обусловленных изменений экосистем и ландшафтов на планете (Smith et al., 2004; Frey and Smith, 2005; Zakharova et al., 2014). При этом северные области Западносибирской равнины более чувствительны к потеплению, чем аналогичные территории Средней и Восточной Сибири, а также Канадской Арктики и Аляски (Serikova et al., 2018, 2019; Ala-aho et al., 2018a, 2018b). Причинами выступают иной характер распространения вечной мерзлоты на ее территории (преобладание прерывистого, спорадического и островного типов) (Романовский и др., 2010); абсолютно плоская поверхность равнины, что приводит к наиболее высокой степени воздействия наводнений (Kirpotin et al., 2009); и высокий запас древнего и относительно свежего органического углерода в виде торфяных отложений (Kirpotin et al., 2009).

Обь – крупнейшая река Западной Сибири, берущая начало в горах Алтая и впадающая в Северный Ледовитый океан. В своем течении она проходит все ландшафтно-климатические зоны, от тундры до полупустыни (Шумилова, 1962; Западная Сибирь, 1963; Ильина, 1985). Уникальность Оби и ее отличие от остальных сибирских рек заключается в обширной пойме, которая благодаря

равнинному рельефу и заболоченности Западной Сибири может достигать 60 км в поперечнике (Петров, 1979; Земцов, 1976, 1988). Это одна из самых больших (после Амазонской поймы, Viers et al., 2005; Pokrovsky et al., 2016) пойменных территорий в мире. При этом систематические сезонные исследования в ней потоков растворенных веществ (углерод, макро- и микроэлементы) очень незначительны по сравнению с исследованиями других крупных рек. Наши исследования были призваны восполнить недостаток знаний об особенностях биогеохимических процессов в пойме.

Территория Обского бассейна активно заселяется таким видом как речной бобр (*Castor fiber* L.). Бобры своей деятельностью меняют режим проточности водоемов и провоцируют застойные явления (Roulet et al., 1997; Zahner, 2001; Вомперский, Ерофеев, 2005; Завьялов и др., 2005; Westbrook et al., 2006; Pollock et al., 2007; Данилов и др., 2008; Мухаметзянов, 2010; Константинов, Минина, 2013; Завьялов, 2013, 2016; Данилов, Федоров, 2015; Swinnen et al., 2016; Панков, Панкова 2016; McCaffery et al., 2016; Puttock et al., 2017; St-Pierre et al., 2017; Wegener et al., 2017). Плотины образуют механический барьер и препятствуют выходу рыбы из нерестовой зоны в основную реку (Осипов, 2011; Башинский, Осипов, 2016; Попков и др., 2018; Popkov et al., 2018; Rozhkova-Timina et al., 2018; Sommer, 2019). Доказано (Ford, Naiman, 1988; Naiman et al., 1991; Yavitt et al., 1992; Bubier et al., 1993; Roulet et al., 1997; Wohl, 2013; Рожкова-Тимина и др., 2017; Рожкова-Тимина, 2018; Rozhkova-Timina et al., 2018; Cazzolla Gatti et al., 2018), что плотины способствуют увеличению содержания растворенных диоксида углерода и метана в водоемах в десятки и сотни раз. Это явление подробно изучалось в Северной Америке и некоторых других районах (Ford, Naiman, 1988; Naiman et al., 1991; Yavitt, 1992; Bubier et al., 1993; Roulet et al., 1997; Wohl, 2013; Whitfield et al., 2015; Jonston, 2014, 2017; Wegener et al., 2017), однако почти не исследовалось в Западной Сибири.

В пойменных водоемах Западной Сибири весьма распространен телорез алоэвидный (*Stratiotes aloides* L.), чье проективное покрытие может достигать 90 %. Водная растительность активно изучается российскими и зарубежными

авторами (Морозова и др., 2001; Таран, 2008; Ефремов, Свириденко, 2012; Василевич, Щукина, 2013; Sarragiotto et al., 2014; Lopes et al., 2016; Phillips et al., 2016; Свириденко и др., 2018), но влияние телореза алоэвидного на содержание растворенных газов и химических элементов в водоемах мало исследовано.

Степень разработанности темы исследования.

Западная Сибирь является крупнейшим на земном шаре хранилищем атмосферного углерода и играет важную роль в глобальном цикле углерода и формировании климата (Smith et al., 2004; Frey and Smith, 2005; Kirpotin et al., 2009). В западносибирских торфяных болотах хранится 26 % от всего углерода, накопленного наземными экосистемами планеты (Smith et al., 2004; Frey and Smith, 2005; Kirpotin et al., 2009). Часть его в растворенном виде может мигрировать в озера и реки или выделяться в атмосферу (Vorobyev et al., 2015; Serikova et al., 2018). Показано (Serikova et al., 2018), что эмиссия CO₂ в реках Западной Сибири в 1,5-2 раза превышает показатели выбросов CO₂, установленных для рек Аляски и Восточной Сибири (Striegl et al., 2012, Denfeld et al., 2013).

Благодаря своим масштабам пойма реки Оби играет огромную роль в формировании региональных и глобальных биогеохимических циклов. Это наиболее пониженная в гипсометрическом отношении часть долины реки, на длительное время затапливаемая полыми водами (Шанцер, 1951). В этот период меняется химический состав воды и содержание растворенных газов, которые транспортируются с течением реки из мелких каналов и затопленных озер в основной водоток Оби, а затем к океану (Алекин, 1953; Савичев, 2010; Bustillo et al., 2011; Vorobyev et al., 2015; Котовщиков и др., 2015; Seidel et al., 2016; Chen et al., 2017; Churakov et al., 2017; Larsen et al., 2017). Процессы разложения и выщелачивания здесь протекают быстро, а потому период паводка особенно важен (Vorobyev et al., 2015, 2019). Часть накопившихся и образовавшихся соединений оседает в пойменных водоемах (Cole et al., 2007; Bastviken et al., 2004; 2011; McClelland et al., 2016; Jarnet et al., 2017). Возможна эмиссия газов из арктических рек, которые оказывают ощутимое влияние на круговорот веществ

(Aurela et al., 2002; Vorobyev et al., 2015; Chupakov et al., 2017; Oleinikova et al., 2018; Vorobyev et al., 2019). Масштаб и характеристики этих процессов практически не изучены. Нельзя исключать, что они имеют решающее значение для определения потенциала наводнений, характера питания рек и экологического баланса в целом (Шепелев и др., 1996, Шепелева, 2019).

Обская пойма исследовалась учеными разных специальностей на протяжении десятилетий. В основном исследования были ориентированы на изучение типологии и динамики ресурсных компонентов: растительность (Дыдина, 1961; Вылцан, 1980; Шепелева, 1986; Гафуров, Скулкин, 1987; Семериков и др., 1992; Биологические ресурсы..., 1996; Лапшина, 2003; Таран, 2014, 2018; Тюрин, 2018; Шепелева, 2019), почвы (Непряхин, 1963; Сметанин, 1963; Гантимуров и др., 1979; Добровольский и др., 1968, 1971, 1984; Славнина и др., 1981; Афанасьева и др., 1984; Славнина, Инишева, 1987; Нечаева, 1992; Пашнева, Евсеева, 1992; Шепелев, Шепелева, 1995; Шепелев, Воробьев, 1999; Аветов и др., 2008; Nechaeva, 2008; Izerskaia et al., 2014), гидрология и гидрохимия (Савичев, 2003, 2009; Savichev et al., 2015; Zemtsov, 2015; Savichev, 2019; Vorobyev et al., 2015, 2019). Однако недостаточно внимания уделялось биогеохимическим особенностям пойменных озер.

При этом пойменные водотоки и озера являются важным звеном в биогеохимических циклах: они накапливают информацию, выступая индикаторами изменений, и дают возможность интегрированной характеристики процессов, происходящих на сопредельных территориях.

Цель и задачи исследования. Целью работы является выявление эколого-биогеохимических особенностей водоемов поймы среднего течения Оби.

Реализация поставленной цели была выполнена посредством решения следующих задач:

1. Изучить особенности физико-химических свойств и динамики содержания основных макро- и микроэлементов, растворенных соединений углерода и газов (CO_2 , CH_4 , O_2) пойменных озер в разные сезоны и годы.

2. Охарактеризовать пространственное распределение (стратификацию и латеральную неоднородность) растворенных газов и химических элементов в пойменных озерах; установить зависимость между концентрациями растворенных газов и макро- и микроэлементов озерных вод и морфометрическими характеристиками озера.

3. Сравнить особенности содержания растворенных газов, химических элементов, органического и неорганического углерода в пойменных озерах, малых реках и реке Оби.

4. Изучить влияние деятельности речного бобра как модельного вида на функционирование экосистем и биогеохимические особенности водоемов поймы.

5. Исследовать воздействие эдификаторного вида телореза алоэвидного, играющего ведущую роль в процессах зарастания озера, на биогеохимические особенности пойменных водоемов.

Научная новизна и основные результаты исследования.

Научная новизна работы заключается в выявлении особенностей биогеохимических процессов в водоемах поймы средней Оби и связи биотического круговорота веществ с функционированием водных экосистем поймы.

Впервые были получены количественные данные по содержанию растворенных газов и химических элементов в пойменных водоемах среднего течения р. Оби. Установлено, что эти водоемы содержат большие концентрации растворенного диоксида углерода и метана.

Выявлены закономерности пространственного распределения растворенных газов и химических элементов в пойменных озерах, их годовая и сезонная динамика. Установлено, что наибольших концентраций растворенные в воде парниковые газы достигают в конце периода ледостава.

Впервые проведена оценка деятельности бобров на территории Обского бассейна и дано описание их существенного влияния на содержание растворенных газов и элементный состав в водоемах поймы. Показано, что результаты «инженерной» деятельности бобров способствуют существенному

увеличению количества растворенных в воде диоксида углерода и метана и снижению концентраций растворенного кислорода, при этом не оказывая заметного влияния на эмиссию CO₂.

Впервые изучено влияние телореза обыкновенного на биогеохимические параметры пойменных озер. Выявлено, что он не оказывает заметного воздействия на газовый состав водоемов, однако вызывает изменения показателя электропроводности и концентраций некоторых макроэлементов.

Теоретическая и практическая значимость.

Полученные сведения расширяют представления о закономерностях биогеохимических процессов в пойме. Впервые выявлены основные особенности газового и элементного состава водоемов в пойме среднего течения Оби.

Исследования средообразующей деятельности бобров достоверно и убедительно показали ощутимое негативное влияние этого вида на эколого-биогеохимическое состояние водоемов. Оно проявляется в существенном повышении содержания парниковых газов, приводит к заморам, меняет режим проточности водоемов. Полученные данные могут стать основой для пересмотра охотничье-промыслового статуса этого вида, принятия экстренных мер по регулированию его численности и разработки регламентов охотоведческих мероприятий.

Количественные параметры содержания и распределения растворенных газов и элементов в воде могут быть учтены при количественном моделировании биогеохимических процессов и циклов, а также при сельскохозяйственном использовании пойменных земель.

Полученные результаты работы могут использоваться как базовые составляющие биогеохимического фона, с которым будут сравниваться последующие изменения газового и химического состава пойменных водоемов средней Оби, происходящие в условиях меняющегося климата, а также при изменении антропогенной нагрузки на данной территории.

Результаты работы могут также использоваться при разработке лекционных и практических курсов для реализации учебного процесса по подготовке специалистов профильного направления.

Достоверность результатов обеспечивается большим объемом фактического материала, применением современных аналитических и инструментальных методов исследования, а также использованием статистических методов обработки результатов.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ № 5.4004.2017/4.6 и федеральной целевой программы, проект RFMEFI58717X0036.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Методология, объекты и методы исследования

Методология исследований. Исследования проводились в рамках мега-профиля для всесезонного эколого-биогеохимического мониторинга. Вдоль профиля была развернута сеть исследовательских станций: Актру (Северо-Чуйский хребет, Юго-Восточный Алтай), Кайбасово (пойма среднего течения реки Оби), Ханымей (южная кромка криолитозоны), Северо-Комсомольское месторождение (зона прерывистой мерзлоты), исследовательская площадка Тазовский (зона сплошной мерзлоты). «Мега-профильный подход» позволяет исследователям одновременно осуществлять несколько взаимосвязанных и взаимодополняющих масштабных международных проектов с оптимальной логистикой.

Объекты исследований. Объектом исследования стали озера и ручьи поймы среднего течения реки Обь вблизи научно-исследовательской станции ТГУ «Кайбасово» (N57.246142°, E84.181919°) в Кривошеинском районе Томской области. Было исследовано 12 пойменных озер, 9 малых рек и сама река Обь.

Методы исследований. Исследования основаны на комплексном подходе: использовалось сочетание экологических, географических, картографических, инструментальных, биогеохимических и химико-аналитических и

статистического методов. Полевые работы проводились несколько лет в следующие сезоны: весеннее половодье, лето, осень 2016 г.; зима, весеннее половодье, лето, осень 2017 г.; весеннее половодье, лето, осень 2018 г.; зима, весеннее половодье 2019 г.

Часть исследований проводилась *in-situ* инструментальным методом. Концентрации растворенного CO₂ и его эмиссии замерялись регистратором данных GM70 Hand-Held Carbon Dioxide Meter, Vaisala®. Электропроводность, pH, растворенный кислород и температура замерялись регистраторами данных WTW Multi 3320 с датчиками WTW Tetra Con 325, pH-Electrode Sen Tix® 41 и Cell Ox 325, соответственно. Стратификационное исследование включало в себя замеры и отбор проб с разных уровней озера при помощи погружного батометра. Замеры производились в эпилимнионе (у поверхности водоема при глубине не более 20 см), в середине и в гипolimнионе (в придонном слое на глубине от 1,4 м до 4 м в зависимости от водоема).

Во взятых пробах воды были проанализированы растворенный органический и неорганический углерод («Shimadzu TOC VSCN»), растворенный метан (газовый хроматограф «Bruker GC-456»), элементный состав (метод масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой).

Обработка данных и графические построения проводились с использованием пакета программ MS Excel 2010, STATISTICA 7.0.

Результаты и обсуждение

1. Характеристика пространственного и временного распределения физико-химических параметров и газового состава пойменных водоемов

1.1. Латеральная неоднородность растворенных газов в одном озере

Латеральная неоднородность растворенных газов в пойменном озере связана с периодом вегетации водной растительности. Концентрации растворенных газов имеют статистически незначимые различия в центре и у берегов озера во время зимней межени, весеннего половодья и летней межени (Рисунок 1). Осенью

концентрации растворенных O_2 и CO_2 статистически значимо различаются, при этом кислорода больше в центре озера, а CO_2 – у берегов.

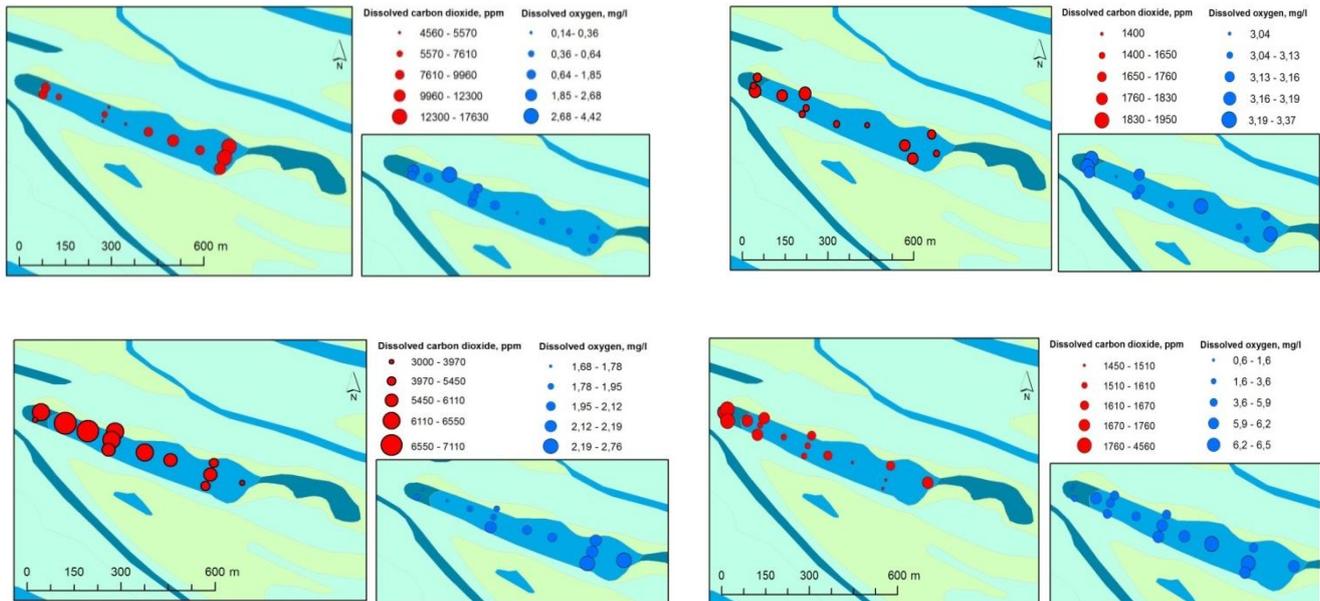


Рисунок 1 - Распределение растворенных CO_2 и O_2 в озере Инкином а) в зимнюю межень б) в весеннее половодье в) в летнюю межень г) в осенний период (Rozhkova-Timina et al., 2019)

Примечание: красным цветом показаны концентрации CO_2 , синим – O_2 .

В разные сезоны эти концентрации имеют различные численные значения и распределение в озере. Концентрации растворенных CO_2 и O_2 наиболее сильно варьируют в зимний период, а весной разброс значений минимален. Это связано с активным перемешиванием воды в пойменных водоемах после начала снеготаяния и отсутствием ветрового перемешивания в подледный период.

1.2. Характеристика внутригодовых изменений газового состава и физико-химических параметров пойменных озер

Воды озер поймы средней Оби имеют слабощелочную или нейтральную реакцию среды в весенний, летний и осенний периоды. Концентрации растворенных парниковых газов в воде повышаются в течение зимнего периода (медианные значения CO_2 и CH_4 9207 ppm и 48,4 ммоль/л соответственно). Напротив, концентрации растворенного O_2 снижаются до 1 мг/л и ниже, что приводит к заморности водоемов. В период весеннего паводка содержание

растворенных CO_2 и CH_4 минимально и составляет 1700 ppm и 0,26 ммоль/л соответственно; концентрация растворенного O_2 повышается до 3,2 мг/л. В летнее время из-за активных процессов жизнедеятельности и дыхания живых организмов, а также их комбинации с процессом фотосинтеза, концентрации всех растворенных газов увеличиваются (медианные значения O_2 , CO_2 и CH_4 составляют 4,1 мг/л, 4330 ppm и 6,2 мг/л соответственно). Осенью при снижении активности живых организмов содержание растворенного O_2 увеличивается (6,1 мг/л), а растворенных CO_2 (1760 ppm) и CH_4 (0,67 ммоль/л) - уменьшаются.

В зимний период из-за увеличения концентрации растворенного CO_2 показатель pH понижается. Вода пойменных озер в любой сезон года не насыщена кислородом. Это свидетельствует (Хатчинсон, 1969) о развитых биохимических процессах в озерах и высокой биологической активности поймы. Концентрации растворенных O_2 и CO_2 имеют сложную обратную взаимозависимость, что ярко проявляется при отсутствии фотосинтеза в зимний период.

1.3. Характеристика межгодовых изменений параметров пойменных озер

Межгодовые различия концентраций растворенных газов и физико-химических параметров были получены при сравнении данных разных лет отдельно в каждом сезоне. В весеннее половодье среда преимущественно слабощелочная или нейтральная. Средние значения электропроводности воды и концентраций растворенного CO_2 совпадают в разные сезоны (180 мкСм/см и 2000 ppm). Концентрации растворенного O_2 в 2018 г ($5,78 \pm 3,15$ мг/л) сильно отличались от концентраций предыдущих лет ($3,52 \pm 0,22$ мг/л и $3,14 \pm 0,46$ мг/л), что, вероятно, связано с большим количеством осадков в апреле и мае, и активным разбавлением воды в пойменных озерах талыми и дождевыми водами.

В летнюю межень водная среда близка к нейтральной. Медианные концентрации растворенных CO_2 и CH_4 не имеют существенных различий в разные годы (5000 ppm и 10 ммоль/л). Более высокие средние значения растворенного O_2 в 2018 г ($6,07 \pm 0,72$ мг/л против $5,52 \pm 4,29$ мг/л и $2,14 \pm 1,58$

мг/л) связаны с разбавлением водных объектов талой снеговой водой во время продолжительного паводка и дождевыми водами. Электропроводность сильно различается в разных водоемах в разные годы. Растворенный органический и неорганический углерод (РОУ и РНУ) сравнивались летом 2016 и 2017 гг. РОУ был статистически значимо выше в 2017 г. ($8,71 \pm 2,89$ мг/л и $16,13 \pm 6$); РНУ был выше в 2016 г, однако статистически разница не подтверждена ($25,48 \pm 7,75$ мг/л и $17,93 \pm 7,37$ мг/л).

При исследовании летней внутрисезонной динамики (сравнение показателей июля и августа в разные годы) статистически значимых различий физико-химических параметров (кроме температуры) и содержания растворенных газов обнаружено не было.

В осенний период водная среда слабощелочная. В разные годы совпадают средние значения электропроводности ($285 \pm 245,5$ мкСм/см) и концентрации растворенного CH_4 (среднее арифметическое значение за три осени – $4,89 \pm 12,18$ ммоль/л). При этом содержание других растворенных газов различается: наивысшая средняя концентрация растворенного O_2 наблюдалась в 2018 г ($8,16 \pm 4$ мг/л), растворенного CO_2 - в 2017 г. (5368 ± 1932 ppm) Причиной таких различий средних значений и высокого стандартного отклонения вероятно являются погодные условия: все исследованные осенние сезоны отличались друг от друга погодными и гидрологическими характеристиками.

В течение зимы происходит накопление подо льдом парниковых газов (максимальные концентрации растворенных CO_2 и CH_4 составляют 22530 ppm и 227 ммоль/л соответственно) и снижение количества растворенного O_2 , иногда до нуля мг/л. В исследованные годы эта закономерность сохранялась. Статистически значимые различия показал только pH, который, несмотря на то, что в целом водная среда сохраняется нейтральной или слабощелочной, из-за увеличения концентраций CO_2 может снижаться.

Биогеохимические особенности пойменных водоемов тесно связаны с погодными условиями в конкретный период. При схожих условиях в один и тот же сезон разных лет наблюдаются близкие значения физико-химических

параметров и концентраций растворенных газов; меньше всего межгодовые различия проявляются в конце зимы.

1.4. Характеристика пойменных озер в контексте морфометрических показателей

В данном разделе рассматривается зависимость параметров рН, электропроводности и концентраций газов в поверхностном слое водоема от площади (в летний период) и глубины (во все сезоны).

При увеличении площади водоема увеличивается концентрация метана и снижается концентрация гуминовых кислот, что подтверждается статистически.

Увеличение глубины водоема в различные сезоны может по-разному влиять на физико-химические параметры и содержание растворенных газов. В летнюю межень была продемонстрирована и статистически подтверждена обратная связь между глубиной и показателем рН. В осенний период наблюдалась положительная связь для концентраций растворенного O_2 и отрицательная - для растворенного CO_2 . Во время зимней межени было заметно снижение содержания метана по мере увеличения глубины озера. При весеннем половодье физико-химические параметры и концентрации растворенных газов не показали зависимости от глубины водоема.

Таким образом, физико-химические характеристики и содержание растворенных газов за изучаемый период в целом зависят от объема воды в пойменных водоемах, хотя в разные сезоны этому влиянию подвержены разные параметры.

1.5. Характеристика стратификационного изменения физико-химических параметров и концентраций растворенных газов

При стратификационном исследовании озер поймы Оби замеры и отбор проб проводились в трех слоях водной толщи. Данные представлены в таблице 1.

По результатам стратификационного исследования можно отметить, что летом при активных процессах дыхания и фотосинтеза наблюдается прямая термическая стратификация (температура воды у поверхности выше, чем у дна). Осенью устанавливается осенняя гомотермия, благоприятствующая процессу перемешивания.

Таблица 1 - Стратификационные изменения физико-химических параметров и концентраций растворенных газов

	Слой	t, °C	pH	ЭП, мкСм/с м	O ₂ , мг/л	CO ₂ , ppm	CH ₄ , ммоль/л	ГК, мг/л
Лето	Поверхность	23,74 ± 1,29	7,29 ± 0,22	136,2 ± 64,34	6,07 ± 0,72	4173,66 ± 3093,93	126 ± 299,2	0,01 ± 0,01
	Средний	21,37 ± 1,85	6,8 ± 0,34	126,47 ± 44,74	1,12 ± 0,24	9643,33 ± 5483,41	65,73 ± 137,32	0,03 ± 0,006
	Придонный	18,7 ± 3,68	7,03 ± 0,18	182,37 ± 99,95	0,28 ± 0,12	8187,0 ± 4813,03	257,4 ± 297,77	0,03 ± 0,02
Осень	Поверхность	3,48 ± 2,1	7,78 ± 0,25	155,94 ± 76,04	10,43 ± 1,78	1485,33 ± 320,64	0,41 ± 0,39	0,01 ± 0,00
	Средний	3,5 ± 0,4	7,65 ± 0,19	123,0 ± 50,52	9,6 ± 0,78	1220,0 ± 363,21	17,79 ± 24,97	0,03 ± 0,025
	Придонный	3,49 ± 0,54	7,75 ± 0,19	149,22 ± 75,79	8,67 ± 1,48	1766,25 ± 543,24	0,82 ± 1,05	0,01 ± 0,01
Зима	Поверхность	0,23 ± 0,126	8,63 ± 0,39	234 ± 80,34	0,00 ± 0,00	9145 ± 1742,58	123,63 ± 94,75	-
	Средний	1,77 ± 0,55	8,66 ± 0,21	261,4 ± 101,22	0,00 ± 0,00	10604,0 ± 1771,16	197,51 ± 149,267	-
	Придонный	2,85 ± 0,55	8,3 ± 0,19	289,75 ± 88,45	0,00 ± 0,00	12638 ± 1320,44	1397 ± 923,32	-
Весна	Поверхность	12,8 ± 3,21	7,49 ± 0,11	142,3 ± 56,61	9,56 ± 0,92	4120,5 ± 1433,01	13,27 ± 16,99	-
	Средний	12,3 ± 3,0	7,48 ± 0,11	141,88 ± 55,49	6,78 ± 1,77	4396,25 ± 1819,84	9,41 ± 16,76	-
	Придонный	11,1 ± 5,52	7,14 ± 0,32	155,0 ± 44,0	2,57 ± 2,71	10206,67 ± 4006, 51	38,85 ± 35,99	-

Примечание: ЭП – электропроводность, «-» - данные отсутствуют

Зимой температура воды на дне озера выше, чем у поверхности. Растворенный кислород статистически значимо различается у поверхности и у дна летом, осенью и весной, имея более низкие придонные концентрации, при этом зимой в водоемах наблюдался серьезный дефицит кислорода во всей водной толще. Растворенный CO_2 всегда содержится у дна в более высоких концентрациях, чем у поверхности. Причиной этого, также как и придонного дефицита O_2 , служат бактериальная диссимилиация и окислительные процессы в трофолитическом слое (Хатчинсон, 1969; Широкова и др., 2015; Котовщиков и др., 2015; Hartland et al., 2015; Но et al., 2019). Концентрации метана не стратифицируются летом и осенью.

Зимой более теплый придонный слой воды является местом обитания рыб и других живых организмов, что является причиной повышения концентраций растворенных CO_2 и CH_4 . Весной идет активное перемешивание с богатыми кислородом тальными и паводковыми водами, в результате чего поверхностный слой получает приток кислорода.

1.6. Особенности сезонной и суточной динамики биогеохимических показателей в пойменных малых реках и реке Обь

Важной составляющей поймы являются малые реки. В районе исследования они представлены реками Казырбак, Собачья, Иштахта, Андрева, Рыбная. Они сравнивались с пойменными озерами и с рекой Обь во время летней межени и весеннего половодья.

Во время весеннего половодья происходят активные процессы перемешивания. За счет этого различия физико-химических параметров и содержания растворенных веществ не существенны. При летней межени в пойменных озерах, водотоках и реке Обь наблюдалось разное содержание растворенных газов и соединений, а также значений физико-химических параметров (Таблица 2).

Таблица 2 – Сравнительная характеристика газового состава озер, малых рек и Оби в летний период

	Среднее значение ± станд. откл. озера	Среднее значение ± станд. откл. малые реки	Среднее значение ± станд. откл. Обь
рН	7,29 ± 0,55	7,74 ± 0,95	8,57 ± 0,27
Электропроводность, мкСм/см	211,5 ± 68,51	267,11 ± 241,56	221 ± 16,67
O ₂ , мг/л	3,73 ± 3,51	2,65 ± 1,37	5,75 ± 2,34
CO ₂ , ppm	5438,82 ± 2649,58	10451,71 ± 7414,64	607 ± 229,3
CH ₄ , ммоль/л	10,97 ± 16,4	1,47 ± 1,2	0,76 ± 0,32
РНУ, мг/л	21,92 ± 8,3	33,59 ± 7,55	19,67 ± 1,58
РОУ, мг/л	12,2 ± 5,9	9,76 ± 2,98	2,98 ± 0,16

Река Обь характеризуется неоднородным содержанием растворенных CO₂ и O₂ в течение года (самая низкая концентрация CO₂ наблюдается летом, самая высокая зимой). Наибольшее увеличение концентрации растворенного CO₂ начинается в период замерзания и достигает максимума в декабре-январе. Концентрация кислорода имеет отрицательную корреляцию с концентрацией углекислого газа. Однако зимой эта закономерность нарушается, т.к. лед и снежный покров препятствуют проникновению солнечного света и прекращают процессы фотосинтеза (Рисунок 2).

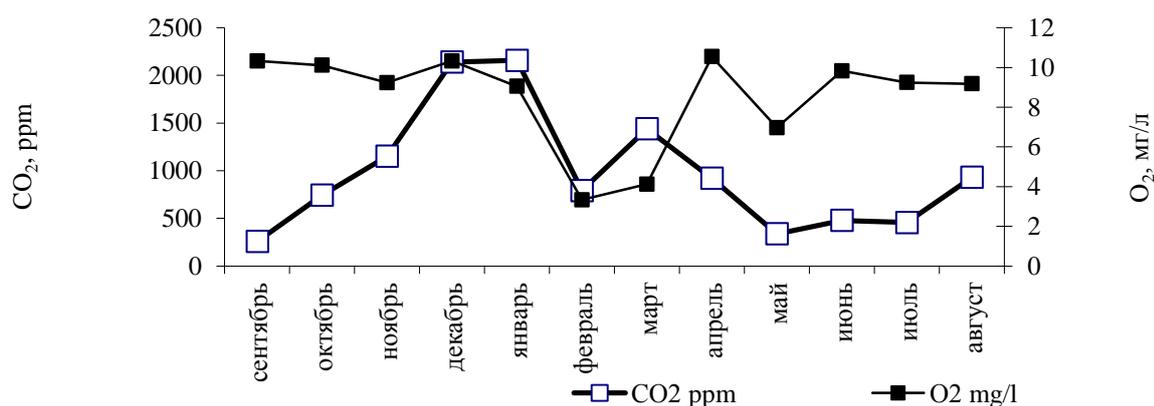


Рисунок 2 - Годовая динамика CO₂ и O₂ (Rozhkova-Timina et al., 2018b)

При этом суточная динамика O₂ и CO₂ не зависит от процессов фотосинтеза; вполне вероятно, что неоднородность потоков воды оказывает более существенное влияние на содержание CO₂ (рисунок 3).

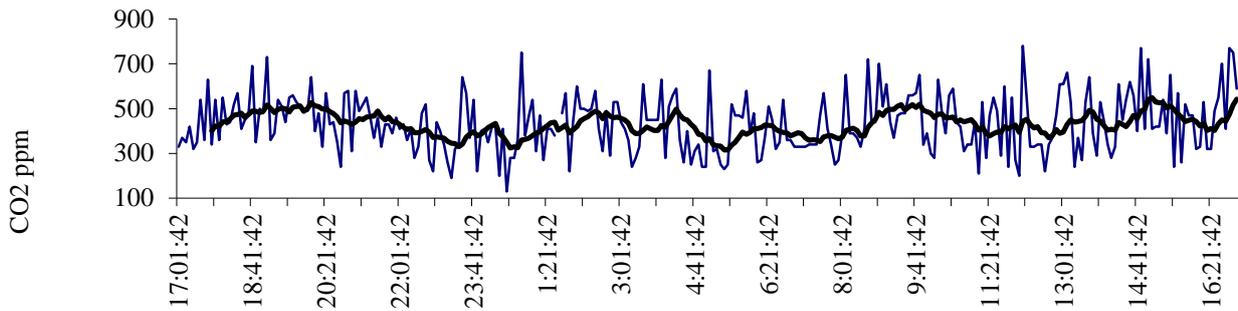


Рисунок 3 - Суточная динамика растворенного CO_2 в июне. Черная линия показывает усредненное значение (Rozhkova-Timina et al., 2018b)

2. Характеристика пространственных и временных изменений макро- и микроэлементного состава пойменных водоемов

Элементный состав также является немаловажной характеристикой водоема. Наиболее распространенным химическим элементом в водах озер поймы средней Оби является кальций. По усредненному содержанию химические элементы в пойменных озерах располагаются в следующем порядке: $\text{Ca} > \text{Na} > \text{Mg} > \text{Si} > \text{K} > \text{Fe} > \text{Sr} > \text{Mn} > \text{B} > \text{Ba} > \text{P} > \text{Al} > \text{Zn} > \text{Li} > \text{Rb} > \text{As} > \text{Ni} > \text{Cs} > \text{Cu} > \text{Cr} > \text{Ti} > \text{V} > \text{Pb} > \text{Co} > \text{Mo} > \text{U} > \text{Sb} > \text{Ce} > \text{Y} > \text{Zr} > \text{La} > \text{Nd} > \text{Cd} > \text{Te} > \text{Ga} > \text{Be} > \text{Sn} > \text{Sm} > \text{Tl} > \text{Gd} > \text{Pr} > \text{Ge} > \text{Dy} > \text{Th} > \text{Er} > \text{W} > \text{Yb} > \text{Eu} > \text{Hf} > \text{Nb} > \text{Ho} > \text{Tb} > \text{Tm} > \text{Lu} > \text{Ta}$.

2.1. Межгодовые и сезонные изменения концентрации химических элементов в пойменных водоемах

Содержание макро- и микроэлементов в воде пойменных озер меняется в течение года: изменению концентраций подвержены Si, K, Cr, Fe, Cu, Pb, P в весеннее половодье (Рисунок 4); Al, Ca, Ba, Zn, Ti, V, Cr, Fe, Co, Ni, La в летнюю межень (Рисунок 5); Na, Al, Ca, K, V, Cr, Mn, Fe, Co, Cu, As, Rb, Pb, U в осенний период (Рисунок 6). Внутрисезонная летняя динамика при сравнении данных июля и августа 2017 не показала статистически значимых различий для всех элементов, кроме Cs, P, V.

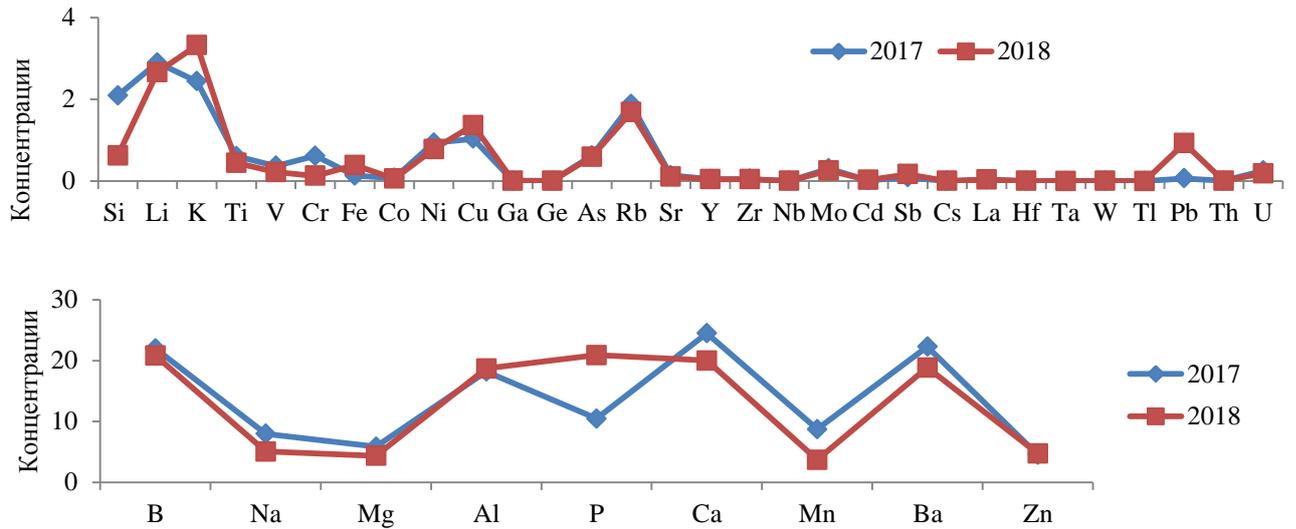


Рисунок 4 – Сравнение концентраций макро- и микроэлементов разных лет в весеннее половодье ¹

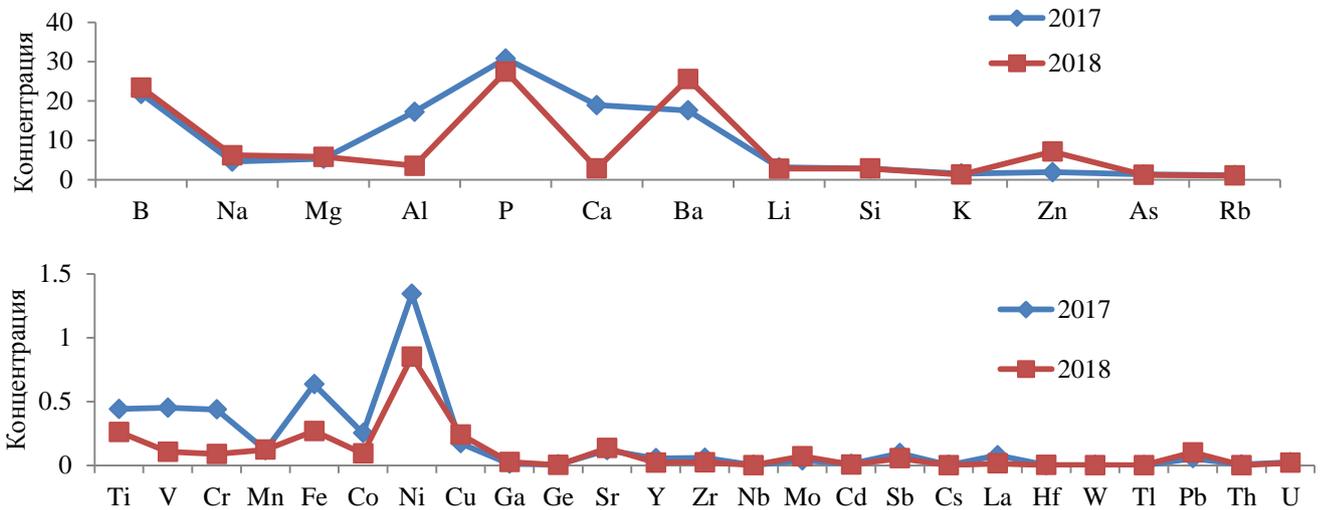
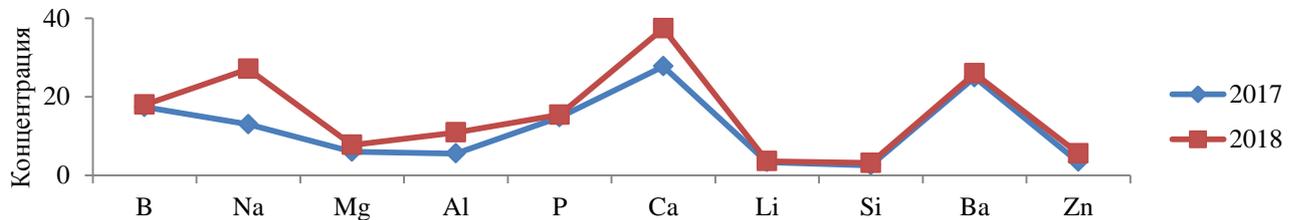


Рисунок 5 – Сравнение концентраций макро- и микроэлементов разных лет за летний период.



¹ Примечание: здесь и далее в главе 2 концентрации Na, Mg, Ca, Si, K, Fe, Sr, Mn представлены в мг/л; остальное – в мкг/л.

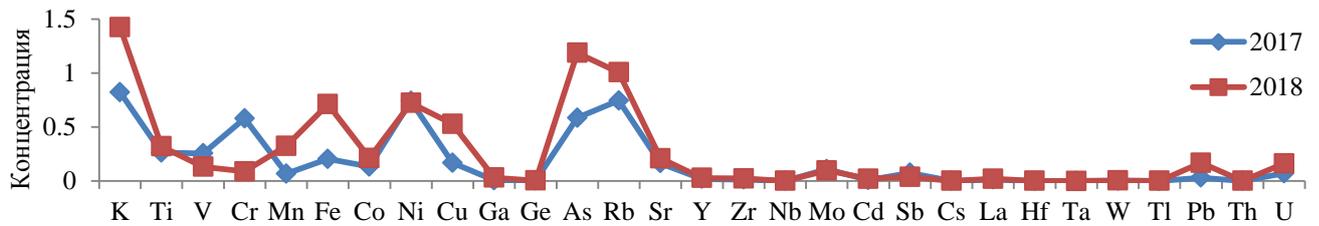


Рисунок 6 - Сравнение концентраций макро- и микроэлементов разных лет в осенний период

2.2. Характеристика зависимости распределения химических элементов от морфометрических параметров пойменных озер

В данном разделе рассматривается зависимость концентраций элементов в поверхностном слое водоема от площади и глубины. Установлено, что концентрации макро- и микроэлементов не зависят от площади озер и от их глубины в летний период. В осенний период при корреляционном анализе была получена отрицательная зависимость от глубины концентраций Ва. Таким образом, за период исследований элементный состав водоема не был связан с объемом воды в нем.

2.3. Особенности стратификации химических элементов внутри пойменных водоемов

Стратификации оказались подвержены многие микроэлементы (Be, Al, K, V, Mn, Co, Zn, Ge, Rb, Y, Nb, La, Pb). Для большинства макроэлементов эта закономерность не выявляется, за исключением калия, концентрация которого летом была выше в гипolimнионе. В придонном слое отдельных озер (Карасевое) установлено повышение количества Ca, Mg, Na, Si в летнее время. В летний период стратификация химических элементов выражена более четко, чем осенью, что связано с осенним перемешиванием.

2.4. Сравнительная характеристика элементного состава пойменных озер, малых рек и реки Обь

В весеннее половодье и летнюю межень 2017 г. были проведены исследования элементного состава пойменных малых рек Казырбак, Иштахта и

Собачья. В разделе сравниваются концентрации химических элементов в озерах, малых реках и Оби. В летнее время содержание Li, Mg, Al, Si, Cr, As, Rb, Ga, Ge, Y, Zr, Nb, Cd, Sb, Te, Hf, Tl, Th не имеет существенной разницы в разных типах водоемов. Концентрации Mn, Fe, Co близки в озерах и малых реках и ниже в Оби. Содержание Na, Ca, Ba, Ni, B, Sr в малых реках значительно отличается от их содержания в Оби и пойменных озерах. Концентрации Zn и Ti значительно различаются во всех типах водоемов.

При весеннем половодье содержание химических элементов в Оби, пойменных ручьях и озерах различается незначительно.

3. Влияние биотических факторов на свойства и состав водоемов поймы средней Оби

Биогеохимические особенности пойменных водоемов напрямую зависят от воздействия различных факторов. Основным биотическим фактором является жизнедеятельность растений и животных. В качестве модельных объектов для исследования были выбраны речной бобр *Castor fiber* L. и телорез обыкновенный *Stratiotes Aloides* L.

3.1. Роль речного бобра в накоплении, эмиссии и отложениях углерода

Речной бобр является «инженерным видом» и своей деятельностью значительно меняет свойства пойменных экосистем. Из работ, посвященных исследованиям влиянию деятельности речного бобра на других территориях, известно, что происходит смена режима проточности водоемов, возникают застойные явления, гибель рыбы, увеличение концентраций углерода. Сравнение биогеохимических параметров в подпруженных и неподпруженных водоемах поймы среднего течения Оби представлено в таблице 3. Значимые различия показали температура, показатель pH, концентрации растворенных диоксида углерода, метана, кислорода, органического углерода в воде и углерода в донных отложениях, а также показатель БПК₅.

Таблица 3 – Значения биогеохимических параметров и их значимость при $p < 0,05$.**Полужирным шрифтом выделены значимые различия**

Параметр	Подпруженный водоем Средн. \pm ст. откл.	Неподпруженный водоем Средн. \pm ст. откл.	Значение U	p
CO ₂ раств, ppm	8484 \pm 1965,93	2506 \pm 1572,52	0	0,005963
CO ₂ эмиссия, ммоль/м ² * с	646 \pm 123,81	712 \pm 347,74	10	0,337587
CH ₄ , ммоль/л	15,16 \pm 15,54	0,76 \pm 0,19	0	0,006093
РНУ, ppm	27,5 \pm 9,74	22,28 \pm 4,01	6	0,105038
РОУ, ppm	10,35 \pm 2,24	5,89 \pm 2,66	2	0,018357
Углерод (донные отложения)	4,30 \pm 2,63	2,76 \pm 2,14	14	0,003497
O ₂ раств, мг/л	1,01 \pm 1,03	3,76 \pm 0,74	0	0,006093
БПК ₅ , мг/л	0,1 \pm 0,26	0,45 \pm 0,2	0	0,006093
t, °C	20,48 \pm 1,11	24,76 \pm 0,8	0	0,005834
pH	7,39 \pm 0,25	8,3 \pm 0,51	0	0,006093
Электропроводность, мкСм/см	229,94 \pm 78,68	232,5 \pm 38,48	10	0,338052
OD600, нм	0,02 \pm 0,01	0,08 \pm 0,06	11	0,417266

Бобры, создавая плотины, увеличивают количество метана и диоксида углерода, выбрасываемых в атмосферу и выступают своего рода катализаторами углеродного цикла в пойме среднего течения Оби, содействуя накоплению или эмиссии органических и неорганических соединений углерода в водотоках или пойменных озерах, потере кислорода, изменению температурного режима. Также деятельность бобров способствует накоплению Li, Be, Na, Ca, Mg, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Ga, As, Sr, Y, Nb, Mo, Ba, W, U в подпруженных водоемах.

3.2. Влияние телореза алоэвидного на газовый режим пойменных озёр

Телорез алоэвидный *Stratiotes Aloides* L. очень распространен в пойменных озерах Обского бассейна: его проективное покрытие может достигать 90 %. Он не оказывает существенного влияния на содержание растворенных газов, однако влияет на содержание некоторых химических элементов (Na, Ca, Sr), повышение концентрации которых, в свою очередь приводит к увеличению электропроводности водоема. Однако при сравнении разных частей озер (с покрытием телорезом и без него) эта закономерность выражена слабо.

ВЫВОДЫ

1. Пойменные водоемы – особая экосистема, играющая значительную роль в круговороте углерода. Площадь пойменных водоемов средней Оби составляет до 7 процентов от площади поймы в меженный период.

2. В целом концентрации растворенных CO_2 (5438,8 ppm) и органического углерода (12,2 ppm) в пойменных озерах значительно выше, чем в Оби, но ниже, чем в малых реках. Концентрации CH_4 (10,97) и РНУ (33,59) снижаются в ряду пойменные озера – малые реки – р. Обь. Для кислорода наблюдается обратное распределение. В период весеннего половодья различие содержания растворенных газов в водоемах и водотоках разных типов статистически не значимо.

3. Свойства газовой фазы вод пойменных озер крайне динамичны. Максимальное содержание растворенных CO_2 и CH_4 наблюдается в зимний период (медианное значение 9207 ppm и 48,4 ммоль/л соответственно), в это же время выявлено минимальное содержание растворенного кислорода. Во время весеннего половодья количество растворенных CO_2 и CH_4 минимально (медианные концентрации 1700 ppm и 0,26 ммоль/л), содержание растворенного кислорода возрастает (3,2 мг/л). Максимальное медианное содержание O_2 (6,1 мг/л) отмечено осенью.

4. Установлено, что средняя глубина водоема оказывает прямое влияние на концентрацию растворенного O_2 и обратное - на концентрации растворенных CO_2 , CH_4 . В гипolimнионе пойменных озер содержание растворенных CO_2 и CH_4 значимо выше, чем в эпилимнионе, а растворенного кислорода - ниже.

5. По усредненному содержанию химические элементы в пойменных озерах располагаются в следующем порядке: Ca>Na>Mg>Si>K>Fe>Sr>Mn>B>Ba>P Al>Zn>Li>Rb>As>Ni>Cs>Cu>Cr>Ti>V>Pb >Co>Mo>U>Sb>Ce>Y>Zr>La>Nd>Cd>Te>Ga>Be>Sn>Sm>Tl>Gd>Pr>Ge>Dy>Th>Er>W>Yb>Eu>Hf>Nb>Ho>Tb>Tm>Lu>Ta. Концентрации B, Na, Ca, Ba, Ni, Sr, Zn, Ti в озерах значимо отличаются от их концентраций в Оби и малых реках.

Концентрации Mn, Fe, Co близки в озерах и малых реках и ниже в Оби. При весеннем половодье различие содержания химических элементов в водоемах разных типов статистически не значимо.

6. Содержание макро- и микроэлементов в воде пойменных озер меняется в течение года. Многие микроэлементы (Be, Al, K, V, Mn, Co, Zn, Ge, Rb, Y, Nb, La, Pb) подвержены стратификации. Для большинства макроэлементов эта закономерность не выявлена, за исключением калия, концентрация которого летом выше в гипolimнионе. Стратификация химических элементов в летний период выражена ярче, чем в осенний.

7. Речной бобр *Castor fiber* L. своей деятельностью способствует накоплению в подпруженных водоемах органических и неорганических соединений углерода, и таких элементов, как Na, Mg, Ca, Li, Be, Si, P, Ti, Mn, Co, Ni, Cu, Ge, As, Rb, Sr, Mo, Ba, W, U; потере кислорода, изменению температурного режима. Этот «инженерный вид» существенно меняет свойства экосистем озер.

8. Латеральная неоднородность растворенных газов в пойменном озере связана с влиянием водной растительности. Концентрации растворенных газов имеют сходные значения в центре озера и у его берегов во время зимней межени, весеннего половодья и летней межени. Осенью концентрации растворенных O₂ и CO₂ статистически значимо различаются, при этом кислорода больше в центре озера (в среднем 6,2 мг/л против 4,5 мг/л у берегов), а CO₂ – у берегов (в среднем 1760 ppm против 1500 ppm в центре). В озерах, где присутствует телорез, статистически значимо выше показатель электропроводности и концентрации растворенных Na, Ca, Sr.



Отчет о проверке на заимствования №1



Автор: Рожкова-Тимина Инна strelka2022@yandex.ru / ID: 4987415
 Проверяющий: Рожкова-Тимина Инна (strelka2022@yandex.ru) / ID: 4987415
 Отчет предоставлен сервисом «Антиплагиат»- <http://users.antiplagiat.ru>

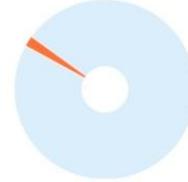
ИНФОРМАЦИЯ О ДОКУМЕНТЕ

№ документа: 5
 Начало загрузки: 13.06.2019 08:24:59
 Длительность загрузки: 00:00:01
 Имя исходного файла: НД_Рожкова-Тимина
 Размер текста: 456 кб
 Символов в тексте: 39089
 Слов в тексте: 4813
 Число предложений: 288

ИНФОРМАЦИЯ ОБ ОТЧЕТЕ

Последний готовый отчет (ред.)
 Начало проверки: 13.06.2019 08:25:00
 Длительность проверки: 00:00:03
 Комментарии: не указано
 Модули поиска: Модуль поиска Интернет

ЗАИМСТВОВАНИЯ 1,57% ЦИТИРОВАНИЯ 0% ОРИГИНАЛЬНОСТЬ 98,43%



Заимствования — доля всех найденных текстовых пересечений, за исключением тех, которые система отнесла к цитированиям, по отношению к общему объему документа.
 Цитирования — доля текстовых пересечений, которые не являются авторскими, но система посчитала их использование корректным, по отношению к общему объему документа. Сюда относятся оформленные по ГОСТу цитаты; общепотребительные выражения; фрагменты текста, найденные в источниках из коллекций нормативно-правовой документации.
 Текстовое пересечение — фрагмент текста проверяемого документа, совпадающий или почти совпадающий с фрагментом текста источника.
 Источник — документ, проиндексированный в системе и содержащийся в модуле поиска, по которому проводится проверка.
 Оригинальность — доля фрагментов текста проверяемого документа, не обнаруженных ни в одном источнике, по которым шла проверка, по отношению к общему объему документа.
 Заимствования, цитирования и оригинальность являются отдельными показателями и в сумме дают 100%, что соответствует всему тексту проверяемого документа.
 Обращаем Ваше внимание, что система находит текстовые пересечения проверяемого документа с проиндексированными в системе текстовыми источниками. При этом система является вспомогательным инструментом, определение корректности и правомерности заимствований или цитирований, а также авторства текстовых фрагментов проверяемого документа остается в компетенции проверяющего.

№	Доля в отчете	Доля в тексте	Источник	Ссылка	Актуален на	Модуль поиска	Блоков в отчете	Блоков в тексте
[01]	0,58%	0,58%	сайте Института	http://web.nioch.nsc.ru	05 Дек 2016	Модуль поиска Интернет	2	2
[02]	0,04%	0,32%	Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов, ...	http://iwep.ru	раньше 2011	Модуль поиска Интернет	1	8
[03]	0,32%	0,32%	geokniga-uglii-kuzbassa.pdf (1/2)	http://geokniga.org	05 Июл 2018	Модуль поиска Интернет	6	7

Еще источников: 7

Еще заимствований: 0,62%